

Criterios para categorización de Recursos Minerales

CONSIDERANDO ASEGURAR EL LARGO PLAZO (FINO/AÑO) Y CORTO PLAZO (FINO/MES)

Definición

l (Código CM2015)

- **Recurso Mineral:** Es un elemento orgánico fosilizado o mineralizado, **razonables para una explotación económica** de los elementos o minerales. La mineralización es económica **metalúrgicas y tecnológicas**.

RECURSOS MINERAL
Es “estimado” a través de “muestreo” y “se clasifica de acuerdo a confiabilidad” i.e. confianza relativa de las estimaciones de tonelaje/ley, confianza de la continuidad geológica y de los contenidos de metal, calidad, cantidad, y distribución de los datos. Se clasifica en Medido, Indicado o Inferido

de material natural de calidad, **que existe**. La localización, características geológicas y el grado de **a partir de evidencia**

EL RECURSO MINERAL
Es aquella parte de un yacimiento de la cual se tiene una perspectiva “razonable” para una eventual “extracción económica”. Por lo tanto en su definición debemos hacernos cargo de criterios técnicos – económicos: **parámetros de Leyes Corte y explicar los Factores o Supuestos Mineros, Metalúrgicos**

- El término *Recurso Mineral* cubre mineralizaciones y materiales naturales de **intrínseco** los cuales **han sido identificados y estimados a través de actividades de reconocimiento y muestreo**. De acuerdo al grado de confiabilidad existente, los Recursos Minerales **se categorizan en Inferidos, Indicados y Medidos**

Categorización de los recursos depende de la confianza (i.e. certidumbre o incertidumbre)



Gráfico 2 Relación general entre los Resultados de Exploración, Recursos Minerales y Reservas Minerales

Variabilidad e Incertidumbre

- El concepto de la **variabilidad** denota **fluctuaciones de valores** sucesivos ya sea en el espacio (variabilidad espacial) o el tiempo (variabilidad temporal)
- Por el contrario el concepto de **incertidumbre**, denota alguna situación o valor para el cual **hay un conocimiento incompleto** y por lo tanto donde nosotros requerimos distribuciones más que un solo valor
- **La variabilidad es un fenómeno en el mundo de la física que puede ser medido, analizado y apropiadamente explicado, por el contrario la incertidumbre es un aspecto de conocimiento**

Categorizar implica clasificar incertidumbre

- La categorización de Recursos Minerales es un asunto que tiene que ver con la **clasificación de la incertidumbre**
- La **incertidumbre depende de varios factores** (¡no sólo una cuestión de estimar leyes!)
 - **Muestreo**: representatividad, calidad y cantidad de muestras
 - **Modelo geológico**: conceptualización, zonación de las unidades y control de los contactos entre unidades principales
 - **Estimación de leyes de elementos principales**
 - **Estimación de leyes de los subproductos y elementos deletéreos**
 - **Volúmenes de producción** (soporte): en que horizontes nos interesa asegurar
 - **Leyes de corte**: a medida que mayor es la ley de corte, menor soporte y mayor efecto proporcional (variabilidad en función de las leyes)
 - **Aversión o tolerancia al riesgo**
 - **↑ certidumbre → ↑ predicción → ↓ riesgo**
 - **↓ certidumbre → ↓ predicción → ↑ riesgo**

Debemos saber fortalezas y debilidades de los modelos (i)

- Los modelos de **Recursos Minerales** se generan comúnmente usando bases e datos de sondajes, definiendo dominios a partir de un modelo geológico y estimando en estos dominios mediante kriging (ordinario)
- El proceso de evaluación mencionado **llevado con rigurosidad permite estimaciones que se ajustan a los datos, se sustentan en modelos geológicos plausibles y son in-sesgadas globalmente**
- Sin embargo, aun usando las mejores prácticas estos modelos **fallan en capturar dos aspectos críticos:**
 - La **Incertidumbre** de leyes y tonelaje (geología) **solo es reducible hasta cierto grado** (tomando mejores muestras, aumentando la densidad del muestreo, mejorando el conocimiento geológico, etc.), pero al final hay siempre una incertidumbre irreducible y generalmente no despreciable. **(efecto información)**
 - **La variabilidad espacial a una escala de producción mina**. Los modelos estimados por kriging son adecuados para la planificación de largo plazo, pero esto es a expensas del suavizamiento lo que conduce a enmascarar o eliminar el impacto de la variabilidad espacial en periodos de tiempo más cortos **(efecto soporte)**

Debemos saber fortalezas y debilidades de los modelos (ii)

- Los modelos por kriging **no permiten tener un rango de valores posibles en cada bloque**, por eso se dice que es un caso singular, y por lo tanto no podemos modelar la incertidumbre.
- Adicionalmente para minimizar el sesgo condicional **las estimaciones por kriging son inevitablemente suavizadas** (es decir, la variabilidad de los bloques es menor que la de las muestras, la cual si encontramos al operar la mina)
- **Estas dos limitaciones de los modelos estimados por kriging contribuyen a la distorsión de la posterior evaluación de un proyecto**
 - Otros aspecto que tendemos a alisar es el geológico, por ejemplo, los modelos de alteración o mineralización se limitan a zonaciones de asociaciones de minerales reconocidos en los mapeos sólo con lupa 10x
 - Lo anterior lleva a que simplifiquemos a un promedio la composición mineralógica de estas zonas. Esto tiene un alto impacto en el modelamiento geometalúrgico

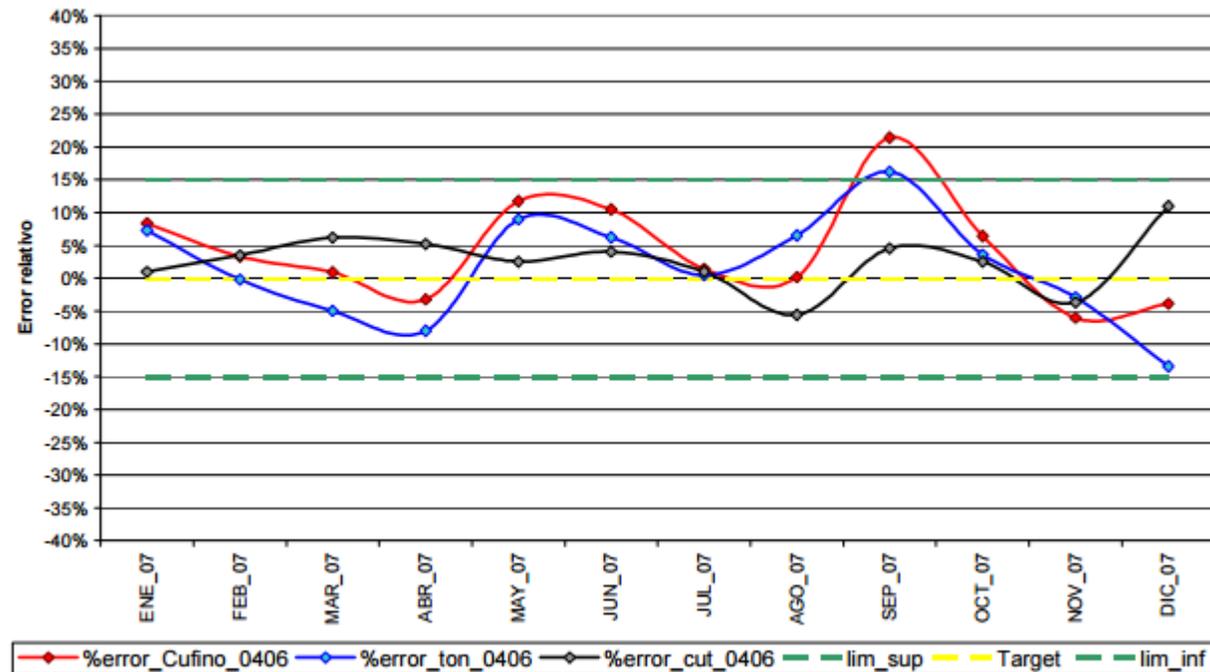
Definición de límites de incertidumbre para categorías Medido e Indicados

- Uno de los criterios más aceptados por los especialistas para definir los límites de la certidumbre asociados a recursos en categorías Medidos e Indicados ha sido definido por MRDI (H. Parker)
- Para Para **Recursos Indicados** los sondeos son suficientes para estimar **tonelaje, ley y metal contenido** en **incrementos de producción anuales** dentro de un 15% a un 90% de confianza
- Para **Recursos Medidos** los sondeos son suficientes para estimar **tonelaje, ley y metal contenido** en **incrementos de producción mensuales o trimestrales** dentro de un 15% a un 90% de confianza
- Para medir la exactitud y precisión de un modelo podemos realizar Reconciliaciones con un modelo de Corto Plazo estimado con pozos de tronadura
- Usando volúmenes mensuales de extracción reales podemos cubica ambos modelos y comparar

Cómo evaluar la incertidumbre de un modelo

Determinar respuesta de un modelo usando reconciliaciones mensuales

Este gráfico puede aplicarse a categorías específicas: ejemplo sólo recursos medidos o indicados



Usar Modelos de Incertidumbre

- Los modelos de incertidumbre se basan en simulaciones condicionales tanto de las leyes como de los contactos geológicos
- Entre otras aplicaciones permiten cuantificar la incertidumbre de un modelo en función de diferentes factores

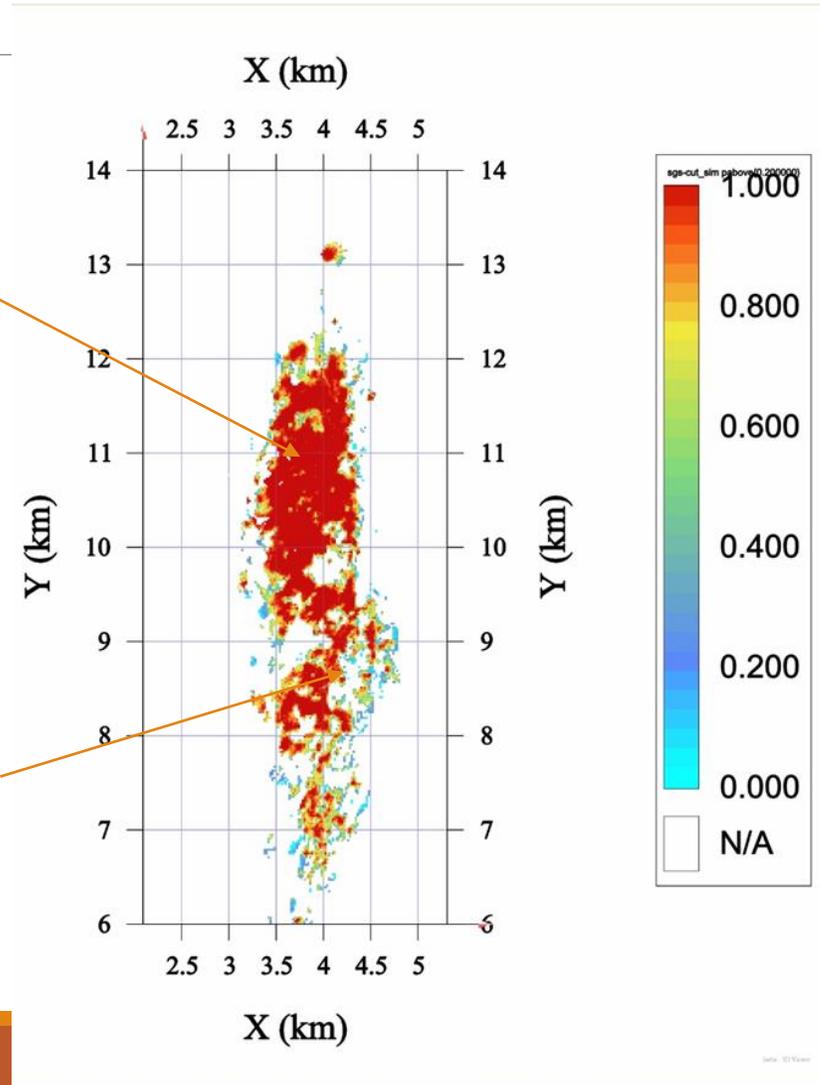
Caso Estudio 1: modelo incertidumbre yacimiento Óxidos

- Se realizó un modelo de incertidumbre para la zona de óxido y lixiviado a través de simulaciones condicionales
- El procedimiento consistió en:
- Simular el contacto de óxido + lixiviado con el resto de las unidades
- Simular contacto óxido-lixiviado
- Simular leyes de óxido y lixiviado
- Combinar simulaciones de geología y leyes para obtener diferentes modelos o escenarios de leyes en la zona de oxidación

Mapas de Probabilidad (% prob de superar cutoff planta)

Cuerpo central explotado en el pasado, homogéneo, baja probabilidad de error entre lastre o mineral

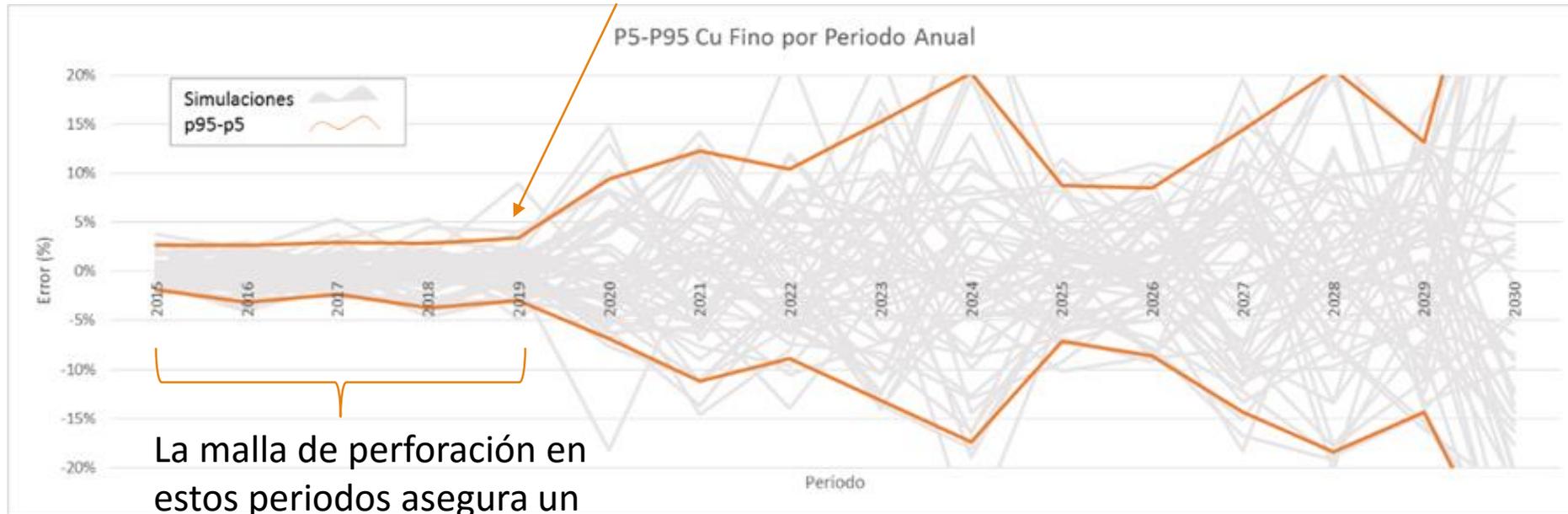
Mineralización en zona sur (explotación actual) es más errática, mas contactos entre lastre y mineral, implica mayor incertidumbre respecto a si un bloque será mineral o lastre. Por lo tanto se debe aplicar una diferente forma de clasificar los recursos



En este estudio los esquemas de clasificación se basaban en las características del cuerpo central, que se extrapolaban a todo el yacimiento

Análisis por Periodos

Cae Nivel de producción y aumenta espaciamiento de la malla de perforación (aumenta variabilidad del error)



La malla de perforación en estos periodos asegura un error menor a 4% con un 95% de confianza, influenciado por altos niveles de producción.

Caso Estudio 2: Error estimaciones según mallas de sondajes y leyes de corte

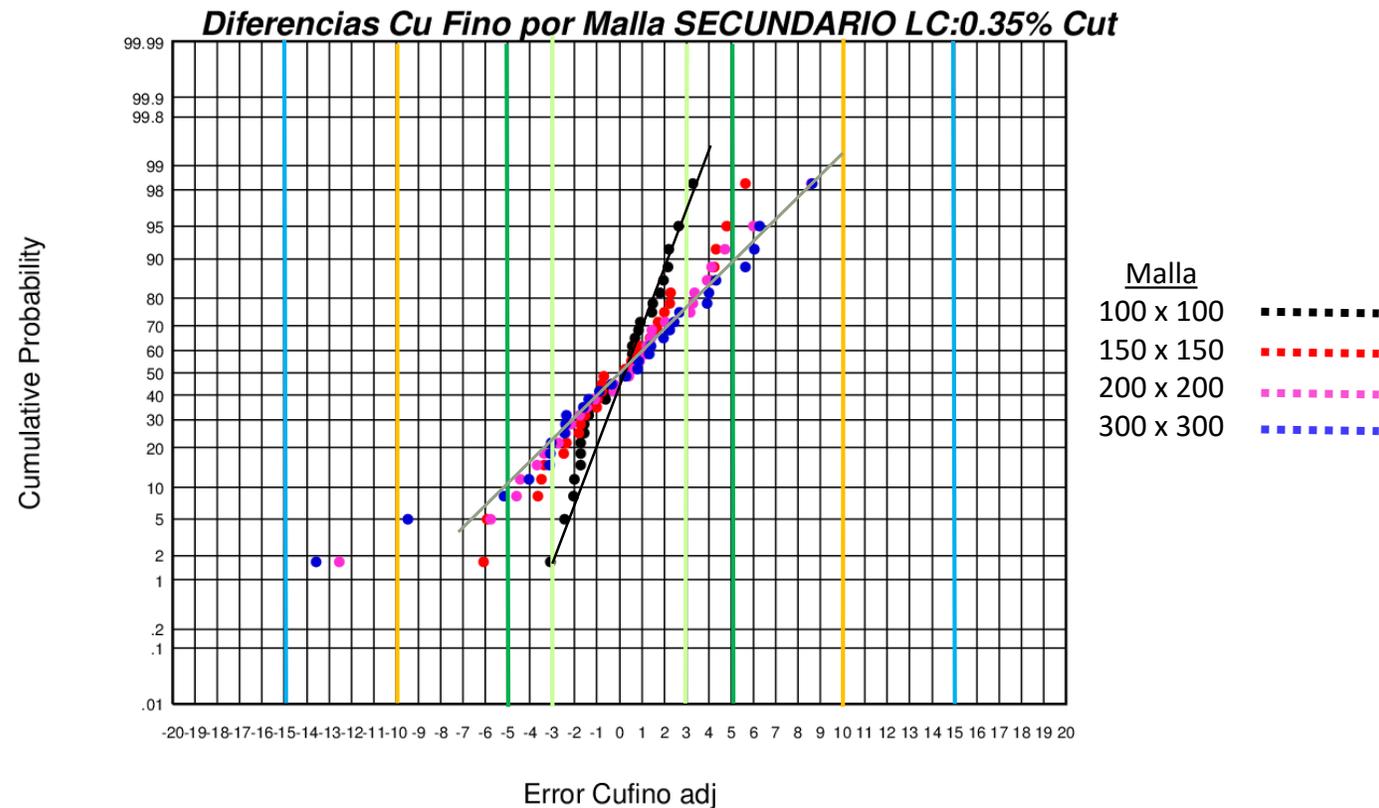
- **Metodología:**
 - **Creación de 30 modelos de referencia (simulación de geología y leyes)**
 - Creación bases datos de sondajes ficticios a diferentes mallas
 - Estimación de 30 modelos de recursos por cada malla de sondajes ficticios
 - **Reconciliación entre modelos de referencia versus modelos estimados por mallas**
 - Estadística y análisis de los errores de estimación por cada malla

Estadística y análisis de los errores de estimación por malla (i)

- **Reconciliación:** se ha cubicado (tonelajes y leyes medias) tanto de los modelos de referencia como de los respectivos modelos estimados según diferentes mallas y diferentes leyes de corte
 - Se usaron 2 leyes de corte LC_1 : 0,35% Cut y LC_2 = 0,50% Cut
 - La ley de corte es un variable que influye directamente en la reconciliación
- Con la reconciliación se ha determinado un error de la estimación según la ley de corte, la malla de sondajes y según diferentes volúmenes de comparación (*soporte*):
- En cada caso los errores se han calculado para el tonelaje, ley de Cu y el Cobre fino

Distribución error por Mallas Secundario Ley Corte = 0,35% Cut

Nota:
A esta ley de corte (0,35%) el secundario muestra más variabilidad que el primario, los errores mayoritariamente se distribuyen en un rango de +/- 10%

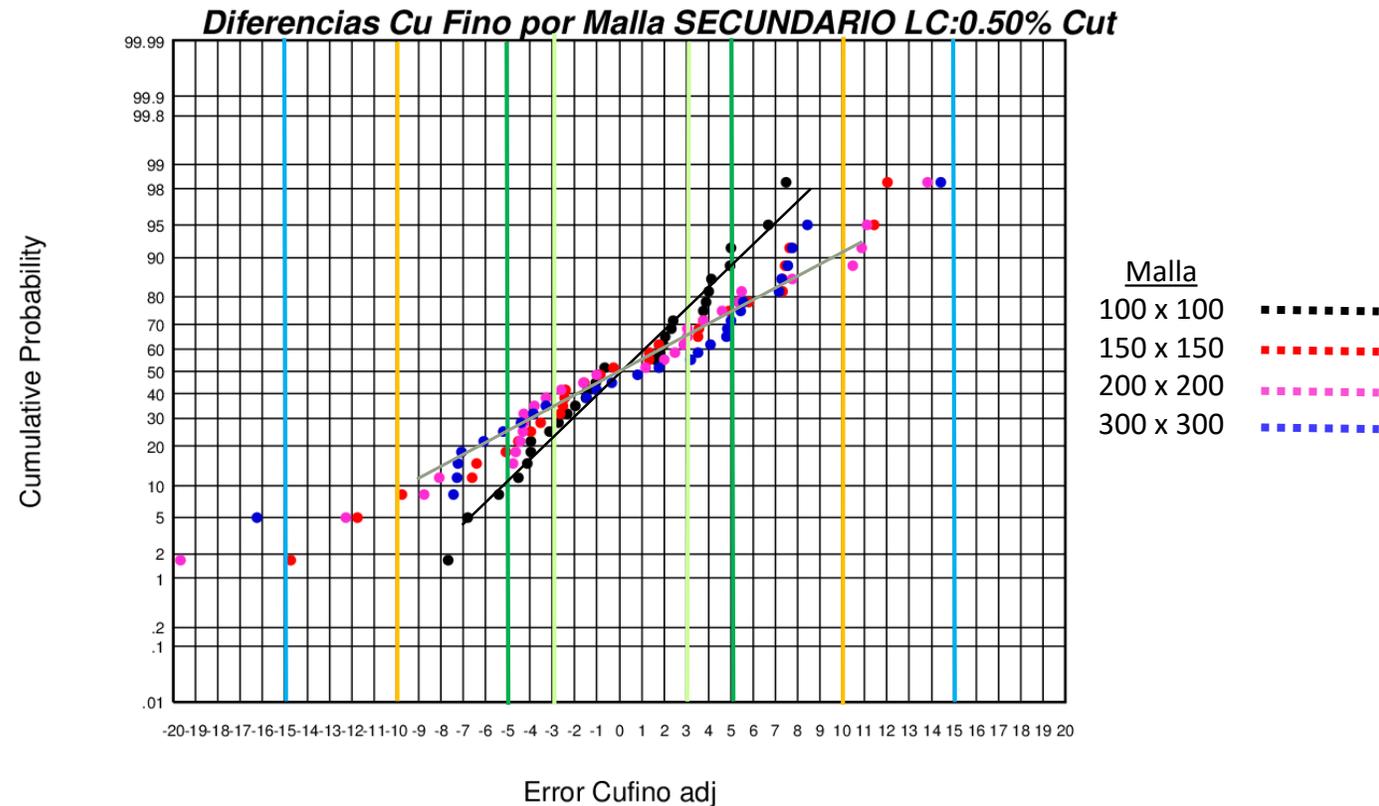


Distribución error por Mallas Secundario Ley Corte = 0,50% Cut

Nota:

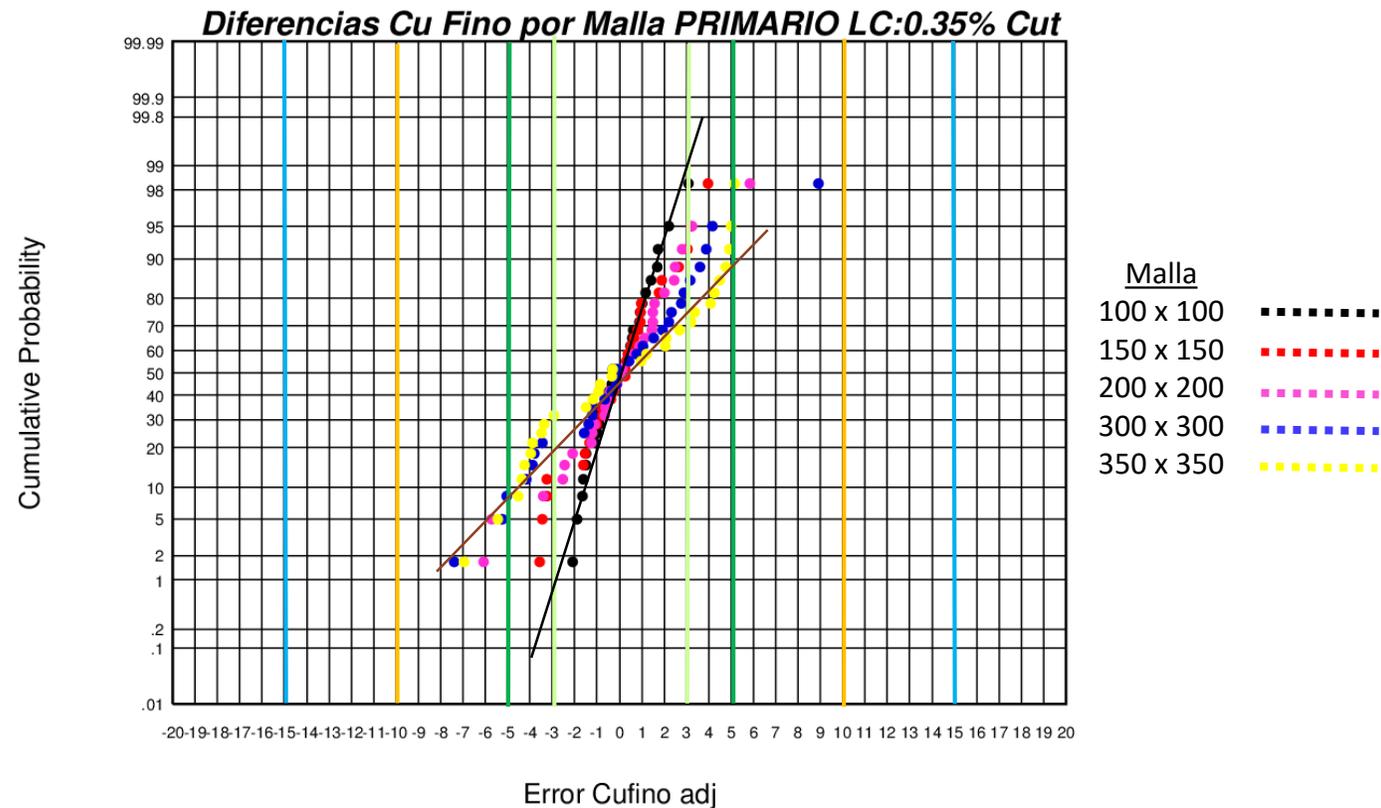
En Secundario a esta ley de corte (0,50%) y de igual forma que en Primario la dispersión de los errores aumentan y las mallas se diferencian más una de otra

Las mallas 200 y 300 "salen" del intervalo $\pm 15\%$



Distribución error por Mallas Primario Ley Corte = 0,35% Cut

Nota:
A esta ley de corte (0,35%) los errores se distribuyen en rangos bajos +/- 8%



Distribución error por Mallas Primario

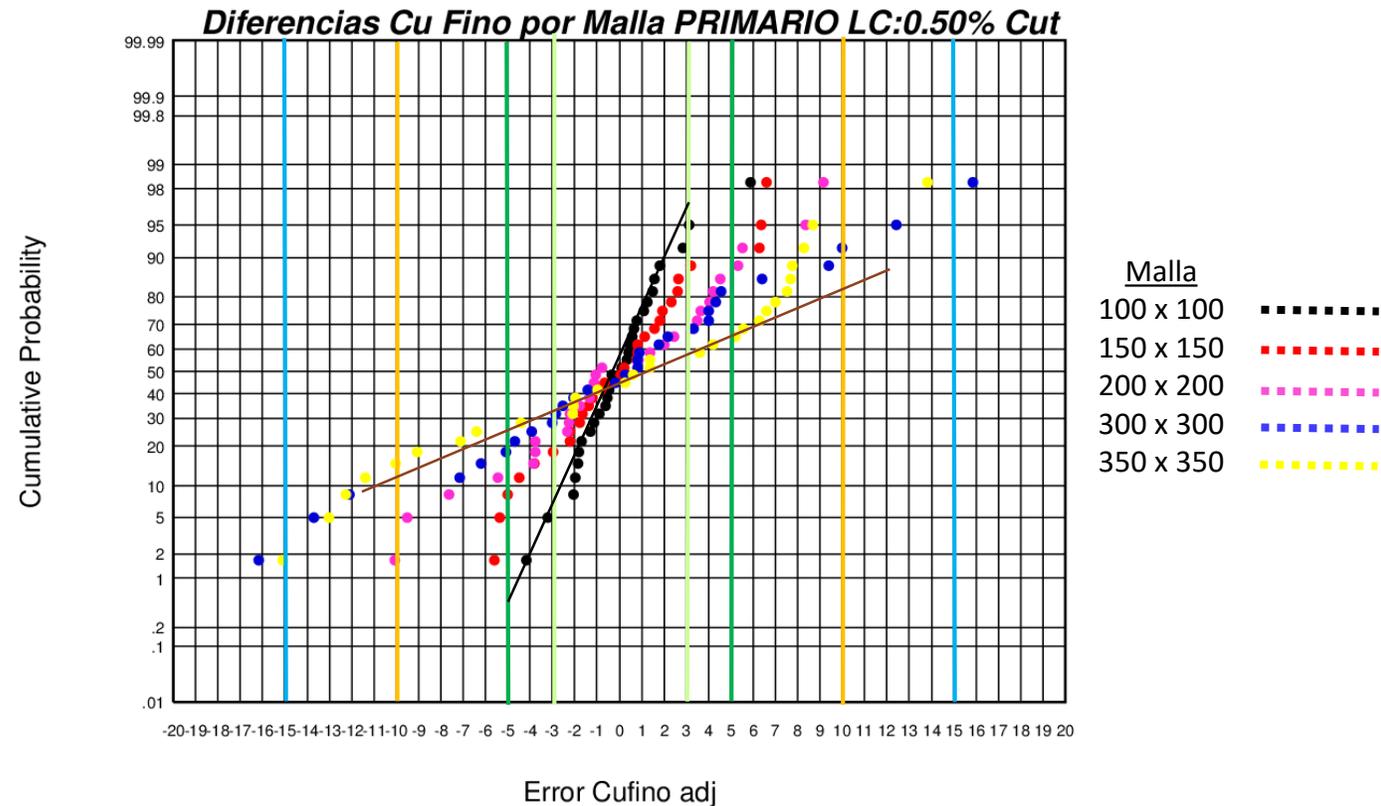
Ley Corte = 0,50% Cut

Nota:

A esta ley de corte (0,50%) la dispersión de los errores aumenta y las mallas se diferencian más una de otra.

La malla 100 se limite en $\pm 5\%$
La malla 200 está limitada en $\pm 10\%$

Las mallas 300 y 350 "salen" del intervalo $\pm 15\%$



Análisis Resultados

- Por lo tanto los resultados de la reconciliación dependen de:
 - Unidad geológica (La zona secundaria es más variable que la zona primaria)
 - Volumen de comparación (soporte), más pequeño → mayor incertidumbre
 - Espaciamiento de las mallas de sondajes
 - Ley de corte